Revista Internacional de
**Ingeniería
de Estructuras**

Vol. 23, 1, 1-28 (2018)

ANALYSIS OF USED DISSIPATORS IN REINFORCEMENT OF HOSPITAL RODRÍGUEZ ZAMBRANO DE MANTA

Roberto Aguiar [1,2]

[1]Profesor. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos. rraguiar@espe.edu.ec
[2]Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Received: July 2017. Accepted: January 2018

ABSTRACT

Three structural blocks of the Rodríguez Zambrano Hospital, in the city of Manta, were reinforced with the incorporation of TADAS energy dissipaters on inverted V-shaped steel braces.

This article presents the α value that relates the rigidity of the frame with the total rigidity that includes windbreak and dissipater; also indicates the value β that relates the elastic rigidity of the constituent of the dissipator TADAS in relation to the elastic rigidity of the diagonal of the windbreak. Parameters that help to understand how dissipators are working in the structure.

Keywords: TADAS power dissipator. Marco's rigidity. Windbreaker

ANÁLISIS DE DISIPADORES TADAS UTILIZADOS EN REFORZAMIENTO DE HOSPITAL RODRÍGUEZ ZAMBRANO DE MANTA

RESUMEN

Tres Bloques Estructurales del Hospital Rodríguez Zambrano, de la ciudad de Manta, fueron reforzados con la incorporación de disipadores de energía TADAS sobre contravientos de acero en forma de V invertida.

En este artículo se presenta el valor α que relaciona la rigidez de marco con la rigidez total que incluye contraviento y disipador; también se indica el valor β que relaciona la rigidez elástica de la constitutiva del disipador TADAS con relación a la rigidez elástica de la diagonal del contraviento. Parámetros que ayudan a entender como están funcionando los disipadores en la estructura.

Palabras Claves: Disipador de energía TADAS. Rigidez de Marco. Contravientos

1 INTRODUCCIÓN

El terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8; dejó daño entre leve y extensivo en la mampostería del Hospital Rodríguez Zambrano de la ciudad de Manta, no se observó daño en los elementos estructurales que están visibles; pero es muy probable que al derrocar las paredes para su rehabilitación aparezca algunas fisuras en algún elemento estructural. Por este motivo se planteó el reforzamiento estructural con disipadores de energía TADAS, lo que se espera con esto es conferirle mayor amortiguamiento a la estructura para que en un futuro sismo se desplace poco. Aguiar *et al.* (2016,a).

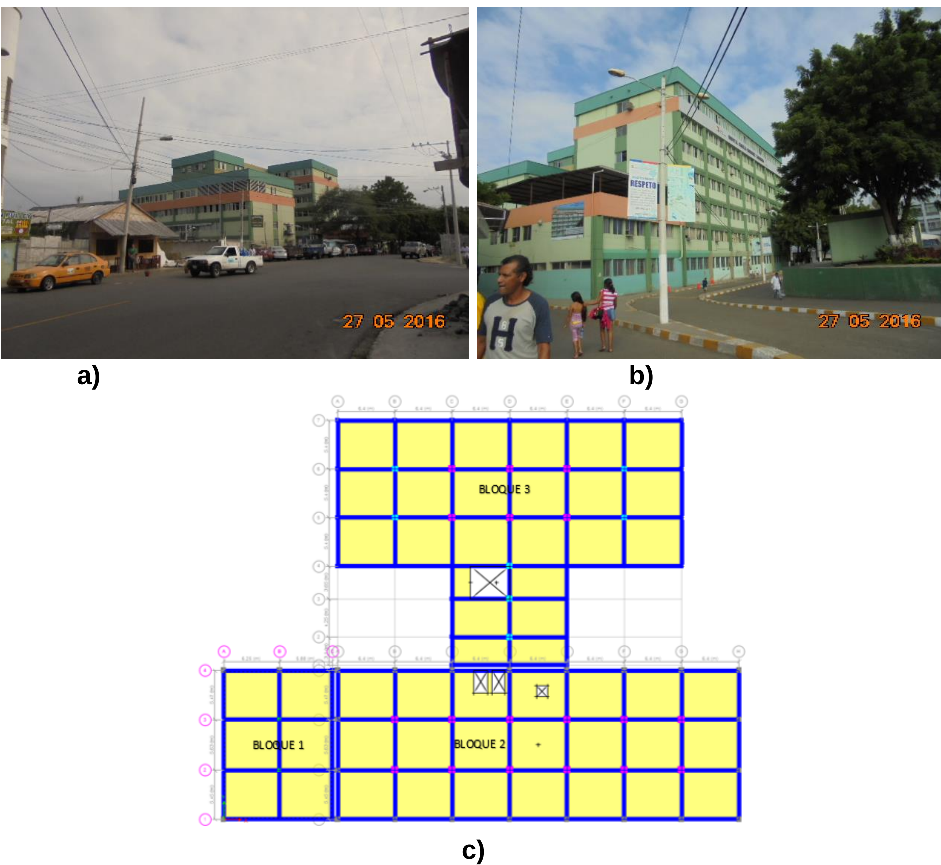


Figura 1 Hospital Rodríguez Zambrano de Manta; a) Vista Posterior; b) Fachada Principal; c) Bloques Estructurales Principales.

Si se habría observado un daño en los elementos estructurales (de los Bloques Estructurales Principales mostrados en la figura 1), como vigas, columnas y losa; primero que habría dejado de funcionar y esto nunca sucedió; en ese caso se habría pensado en conferirle mayor rigidez y resistencia con la incorporación de nuevos elementos estructurales, como fue el caso del Edificio del Banco Central de Manta (Aguiar *et al.* 2017). Como no sucedió esto se decidió reforzar con contravientos de acero sobre los cuales van disipadores de energía TADAS, esta opción de reforzamiento hace que las fuerzas que se transmiten a las columnas, vigas y cimentación existente sean bajas, por lo que no se requiere reforzar esos

elementos estructurales. Por este motivo es que el reforzamiento con disipadores de energía es lo más adecuado e innovador para nuestro medio pero muy utilizado a nivel mundial desde hace unas dos décadas. Aguiar *et al.* (2016,a); Tena y Nangusllasmu (2013); Tena y Ramírez (2017); Tsai *et al.* (1993); Whittaker *et al.* (1989).

Existen varios Bloques Estructurales en el Hospital, de ellos tres son los principales, por las funciones que realizan y son los indicados en la figura 1; inicialmente el Bloque Estructural 1 era de 2 pisos; Los Bloques Estructurales 2 y 3 de 6 pisos; todos ellos de hormigón armado. Con el paso del tiempo los Bloques indicados aumentaron un piso más con una estructura de acero de lámina delgada, construida en forma anti técnica y como era de esperarse tuvo daño a nivel de soldadura en las uniones (falla más común en estructuras de acero). Estas ampliaciones serán derrocadas porque la estructura no fue diseñada para soportar un piso más y a más de ello no fueron realizadas por un Técnico, considerando que se trata de un Hospital.

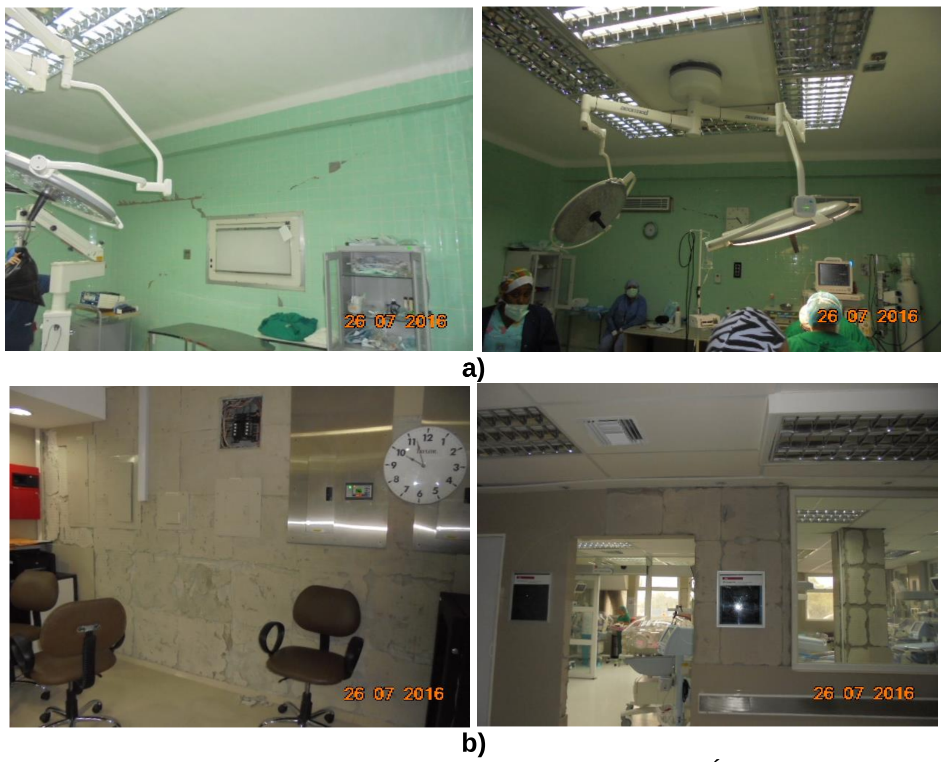


Figura 2 Daño en Mampostería en Bloque Estructural 3; a) Área de Quirófanos; b) Eliminación de cerámica para seguir funcionando.
Fuente: Aguiar *et al.* (2016)

El deseo de servir a la comunidad y de seguir funcionando; hizo que sus Directivos decidan continuar trabajando a pesar de que sus paredes se encontraban fisuradas; como es el caso de las fotografías mostradas en la figura 2, que corresponden al área de quirófanos, que se hallan en el Bloque Estructural 3. En la parte superior se observa que continuaban realizando operaciones en el área de quirófanos a pesar de que sus paredes estaban dañadas; lo que hicieron fue mejor

remover la cerámica rota, desinfectar las paredes y seguir laborando ver fotos de figura 2 b.

En el hospital hubo daño extensivo de la mampostería, en algunas zonas del hospital, una de ellas es el área de radiografías que se halla en el Bloque Estructural 2; de igual manera en los pasillos donde sus paredes no eran completamente rectas, por razones arquitectónicas y de funcionamiento (instalaciones) había unos elementos salidos construidos con la misma mampostería de bloque sin elementos confinantes y se dañaron durante el terremoto.

La rotura o fisuras en la mampostería es alarmante, la gente piensa que la estructura está muy dañada y es insegura, a pesar de que los elementos resistentes son los columnas y vigas, y si estos no tuvieron daño porque no proceder como lo hicieron en el Hospital Rodríguez Zambrano, en que primero hicieron una limpieza y con ello se da otra imagen y después desinfectaron todas las áreas.

Si no procedían de esta manera y el personal no deseaba entrar a trabajar, aduciendo que la estructura es insegura, de seguro que con tantos "investigadores" que fueron después del terremoto y en su afán de estudiar el daño, habrían un poco más las fisuras. Otra opción es que sus directivos piensen es un hospital público y se ha dañado, que lo derroquen y construyan otro hospital más grande y moderno. Lo indicado no es exageración sucedió en varias estructuras de algunas universidades, donde se derrocó edificios que se comportaron de acuerdo a la filosofía de diseño y que eran reparables pero se decidió derrocarlos y a los 16 meses del terremoto todavía quedan sus escombros en el sitio donde antes estaba su edificación.

Lo indicado no solo sucedió en estructuras públicas, también pasó en privadas, caso del Edificio Fragata ubicado en la ciudad de Bahía de Caráquez, una estructura de hormigón armado, de 10 pisos, que había terminado de construirse unos siete u ocho años antes del terremoto de 2016; tuvo daño estructural (en vigas y columnas) y daño no estructural (en mampostería) pero se podía reforzar ya que se comportó de acuerdo a la filosofía de diseño de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 y a la mayor parte de normativas sísmicas existentes en el mundo, en que se admite que la estructura incursione en el rango no lineal (daño estructural) ante un terremoto, pero luego se puede reforzar a un costo que sea menor al valor total de la estructura. Aguiar (2017).

Es hora de pensar en un cambio de la filosofía de diseño, ya no trabajar con factores de reducción de las fuerzas sísmicas R, altos, ya que esto conduce a diseñar con fuerzas sísmicas bajas lo que implica que la estructura va a ingresar al rango no lineal, es decir va a tener daño. Hay que diseñar con valores R bajos para que las fuerzas sísmicas sean altas pero se debe conferir a la estructura suficiente ductilidad, sobre resistencia y gran redundancia para que la estructura tenga un R alto pero en el análisis sísmico hacerlo con un R, bajo.

2 DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DURANTE TERREMOTO

En este apartado, se ve el desempeño de cada uno de los Bloques Estructurales del Hospital, ante las dos componentes de movimiento horizontal del espectro obtenido en Manta, del terremoto del 16 de abril de 2016, que se indican en la figura 3 a; en la figura 3 b, se comparan estos espectros con el espectro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, y se aprecia que las ordenadas espectrales durante el terremoto fueron más altas que los de la NEC-15.

El análisis se realizó empleando el Método Espectral y utilizando el criterio de combinación modal CQC (Combinación Cuadrática Completa). Se halla la respuesta a nivel de desplazamientos laterales y derivas de piso. De esta manera también se conoce las estructuras (dimensiones de los elementos, luces y altura de piso) para entender los sitios donde se colocó los disipadores de energía TADAS.

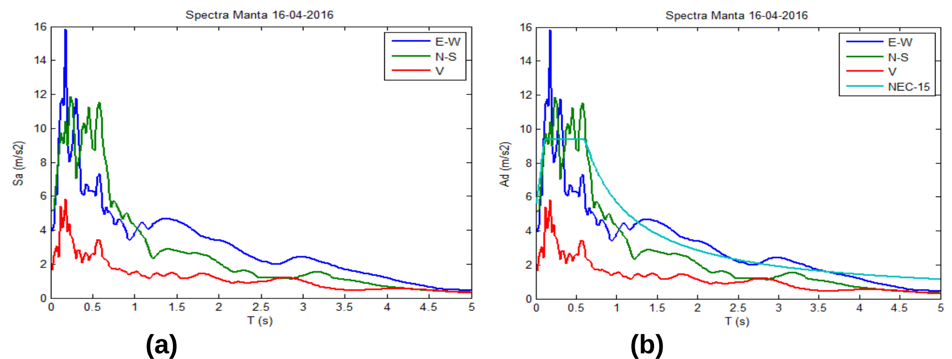


Figura 3 a) Espectros obtenidos con registros de Manta en suelo tipo C, del terremoto del 16 de abril de 2016; b) Espectros de Manta y NEC-15.

2.1 Bloque Estructural 1

La estructura es de dos pisos, conformada por columnas de 60/60 cm, y 50/50 cm, en los pórticos exteriores (1 y 4) en los centrales son de 30/40 (2 y 3); las vigas son de 40/40 cm, en los dos sentidos. En la figura 1 c, se presenta la planta de todos los Bloques Estructurales, la losa es alivianada de 25 cm, de peralte con una loseta a compresión de 5 cm. El hormigón utilizado es de 24 MPa. Aguiar *et al.* (2016,a).

En la figura 4, se indican los pórticos del Bloque Estructural 1; la geometría de los pórticos 1 a 4 (sentido transversal) es la misma, lo que difiere son las dimensiones de las columnas; para el análisis se tienen 2 matrices de rigidez lateral; la que se obtiene con el pórtico 1 que es igual al 4, y la que se halla con el pórtico 2 que es igual al 3.

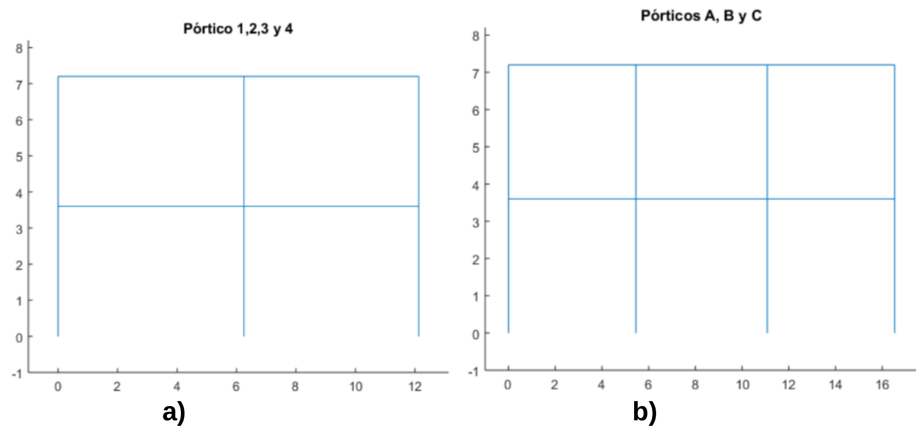


Figura 4 Pórticos del Bloque Estructural 1; a) Pórticos en sentido transversal; b) Pórticos en sentido longitudinal.

- **Análisis en sentido transversal**

En la figura 5 se presenta en forma gráfica los desplazamientos laterales obtenidos y las derivas de pisos, para sismo E-W y N-S.

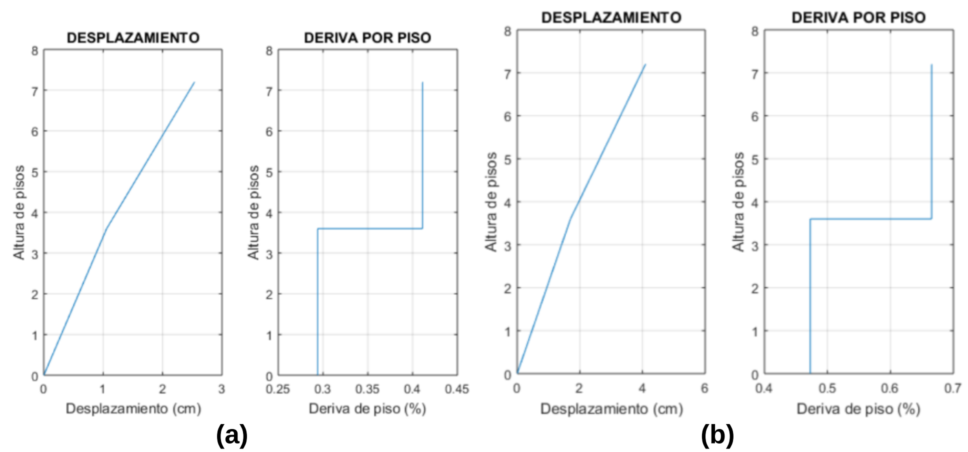


Figura 5 Respuesta en desplazamientos y derives de piso. Sentido Transversal; a) Ante componente E-W; b) Ante componente N-S. Bloque Estructural 1

En la tabla 1, se presenta el desplazamiento lateral máximo encontrado D_t, la deriva de piso γ; la deriva global γ_g; y el factor Γ que relaciona el desplazamiento lateral máximo en el sistema de ngdl, con el desplazamiento lateral en un sistema de un grado de libertad de una estructura equivalente.

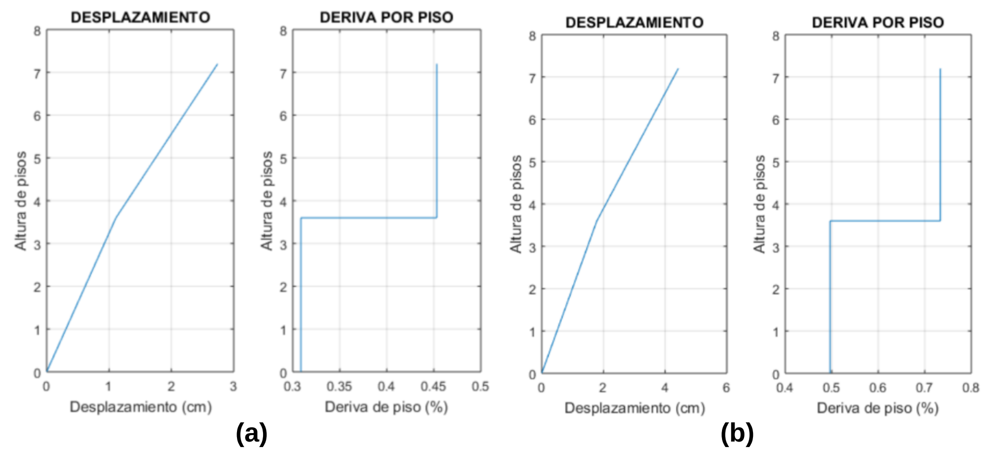
Tabla 1 Respuestas máximas en Sentido Transversal de Bloque Estructural 1.

	E-W	**N-S**
$D_t\ (cm)$	2.5382	4.0968
$\gamma\ (\%)$	0.4111	0.6653
$\gamma_g(\%)$	0.35	0.57
Γ	1.23	1.23

La estructura equivalente de un grado de libertad 1gdl, fue obtenida con el criterio de que la estructura de n grados de libertad tenga el mismo período de la estructura equivalente de 1 gdl.

- **Análisis en sentido transversal**

En el sentido transversal los pórticos A, B, y C, son diferentes (dimensiones de columnas cambian) pero mantienen la misma forma por lo que se dibujó un solo pórtico en la figura 4 b. En la figura 6 se presentan los desplazamientos y derivas de piso, encontradas, con el Método Espectral y en la tabla 2 se indican los valores máximos.



(a) **(b)**

Figura 6 Respuesta en desplazamientos y derives de piso. Sentido Longitudinal; a) Ante componente E-W; b) Ante componente N-S. Bloque Estructural 1

Tabla 2 Respuestas máximas en Sentido Longitudinal de Bloque Estructural 1.

	E-W	**N-S**
$D_t\ (cm)$	2.7430	4.4275
$\gamma\ (\%)$	0.4332	0.7336
$\gamma_g(\%)$	0.38	0.61
Γ	1.2307	1.2306

2.2 Bloque Estructural 2

En la figura 1 c, se presentan los 3 Bloques Estructurales que se están analizando; en base a la nomenclatura allí indicada, en la figura 7 se presentan los pórticos del Bloque Estructural 2. Ahora los pórticos identificados con números corresponden al sentido longitudinal y los con letras al transversal.

El pórtico 1 es igual al 4; de igual manera el 2 es igual al 3; en sentido transversal el pórtico A es igual al H; y el pórtico B es igual al C, D, E, F, G. Es decir los pórticos exteriores son iguales entre sí y lo propio sucede con los pórticos interiores.

Las columnas varían desde 40/40 cm, hasta 80/80 cm, pasando por 60/60 cm. En total se tienen 3 tipos de columnas; las vigas son de 40/60 cm. Aguiar *et al.* (2016,a).

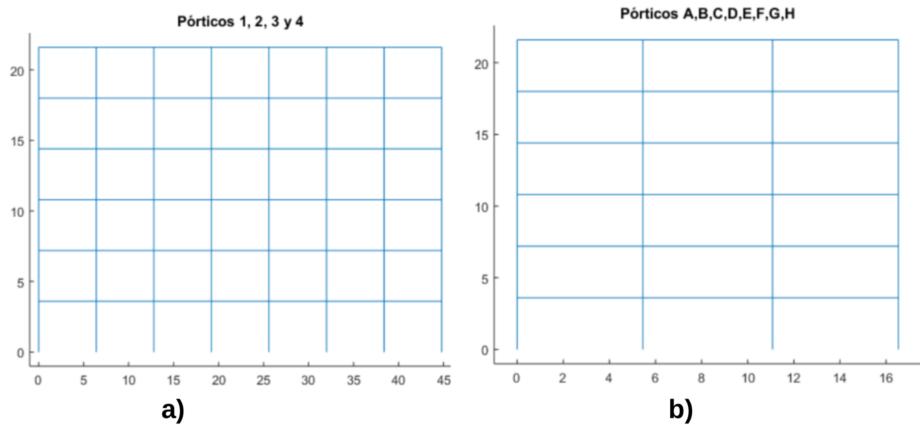


Figura 7 Pórticos del Bloque Estructural 2; a) Pórticos en Sentido Longitudinal; b) Pórticos en Sentido Transversal.

- **Análisis en sentido longitudinal**

En la tabla 3, se presentan las respuestas máximas del Bloque Estructural 2, que tiene 6 pisos. Al analizar con un grado de libertad por planta la matriz de rigidez en coordenadas de piso en sentido longitudinal es diferente a la matriz de rigidez en coordenadas de piso en sentido transversal; la matriz de masas es la misma en los dos sentidos de análisis. Por este motivo el período de vibración en sentido longitudinal es diferente al período en sentido transversal.´

Tabla 3 Respuestas máximas en Sentido Longitudinal de Bloque Estructural 2.

	E-W	**N-S**
$D_t\ (cm)$	9.7024	13.2190
$\gamma\ (\%)$	0.7355	1.0118
$\gamma_g (\%)$	0.45	0.61
Γ	1.3136	1.3039
T (s.)	0.9281	

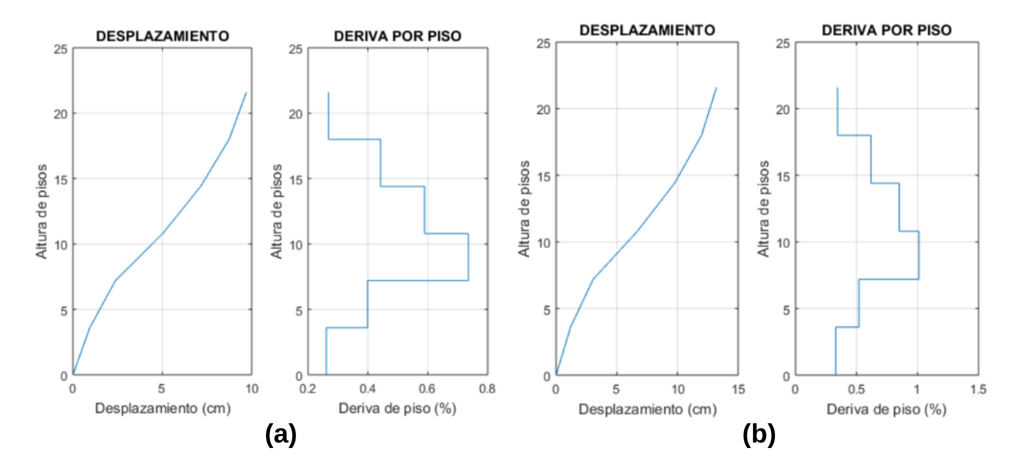


Figura 8 Respuesta en desplazamientos y derives de piso. Sentido Longitudinal; a) Ante componente E-W; b) Ante componente N-S. Bloque Estructural 2

En la figura 8, se muestra las respuestas de desplazamiento lateral en cada piso y derivas de piso en sentido longitudinal.

- **Sentido Transversal**

Las respuestas máximas en Sentido Transversal, ante las dos componentes del Espectro obtenido en Manta del terremoto de 2016, se indican en la tabla 4. En sentido transversal tuvo mejor comportamiento que en sentido longitudinal pero son bastante parecidos. En la figura 9 se presentan los resultados de desplazamientos y derivas de piso en forma gráfica, ahí se puede observar en que piso se presentaron las derivas máximas.

Tabla 4 Respuestas máximas en Sentido Transversal de Bloque Estructural 2.

	E-W	**N-S**
$D_t\ (cm)$	8.9038	11.3157
$\gamma\ (\%)$	0.5859	0.777
$\gamma_g (\%)$	0.41	0.52
Γ	1.3863	1.3742
T (s.)	0.7645	

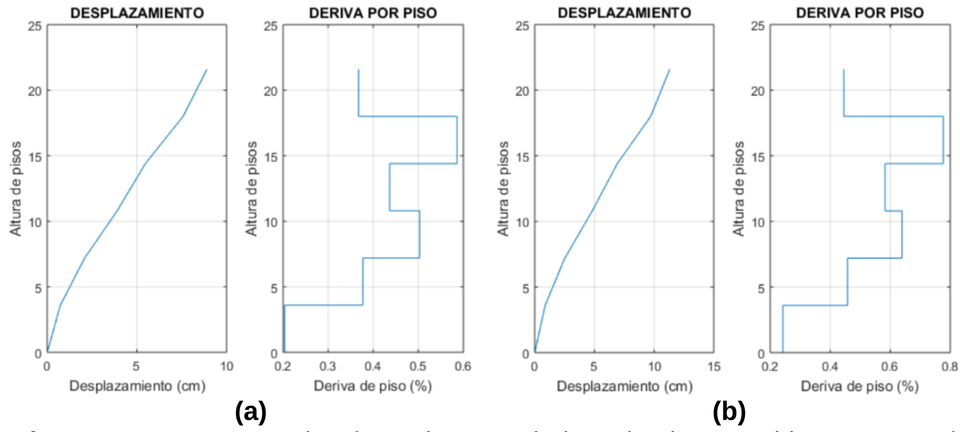


Figura 9 Respuesta en desplazamientos y derives de piso. Sentido Transversal; a) Ante componente E-W; b) Ante componente N-S. Bloque Estructural 2

2.3 Bloque Estructural 3

En el Bloque Estructural 3, que tiene una forma de "T", se tienen columnas de 40/40 cm, 50/50 cm, 60/60 cm, 70/70 cm, y 80/80 cm, de tal manera que no hay cambios bruscos de sección como en el Bloque Estructural 2. Por cierto, cuando se observa un edificio de 6 pisos con tanta variación de sección de columnas se piensa que quien calculó es un Proyectista Estructural que se está iniciando. El supuesto ahorro que tendría en la cantidad de hormigón se gasta en los encofrados pero a más de ello la armadura longitudinal no es completamente recta para adaptarse a las diferentes secciones. Personalmente habría trabajado con una sección de columna la misma que sube igual en todos los pisos y algo fundamental sabiendo que se trata de un Hospital habría diseñado con muros de corte, los tres bloques estructurales.

Retomando el tema, se debe indicar que las vigas son de 40/60 cm. En la figura 10 se presentan los pórticos del Bloque Estructural 3. El pórtico A es igual al G; el B al F; el C igual al E; Los pórticos A, B, F y G tienen las mismas luces y alturas pero las secciones de columnas son diferentes, lo mismo sucede con los pórticos C, D y E. Este Bloque es irregular en planta y elevación.

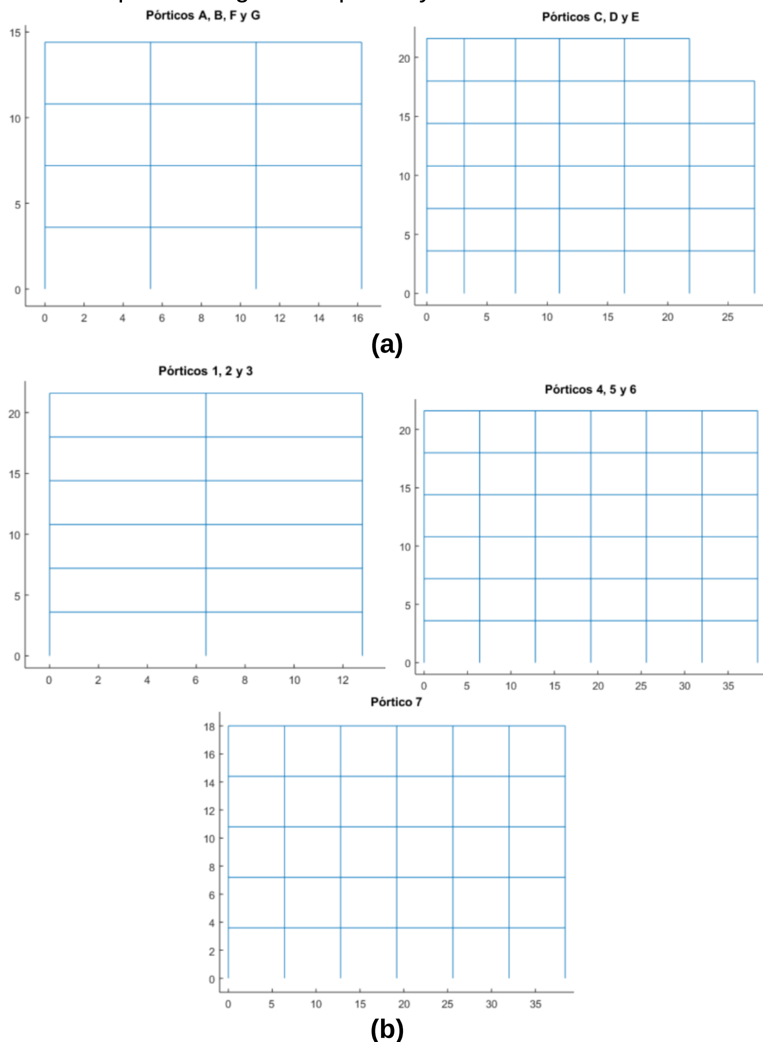


Figura 10 Pórticos del Bloque Estructural 2; a) Pórticos en Sentido Transversal; a) Pórticos en Sentido Longitudinal.

Tabla 5 Respuestas máximas en Sentido Transversal de Bloque Estructural 3.

	E-W	**N-S**
D_t (cm)	9.2503	11.9428
γ (%)	0.6260	0.7384
γ_g(%)	0.430	0.55
Γ	1.4912	1.4676
T (s.)	0.7499	

- **Análisis en Sentido Transversal**

Los resultados se presentan en la tabla 5 y en la figura 11, para el Análisis sísmico en sentido transversal.

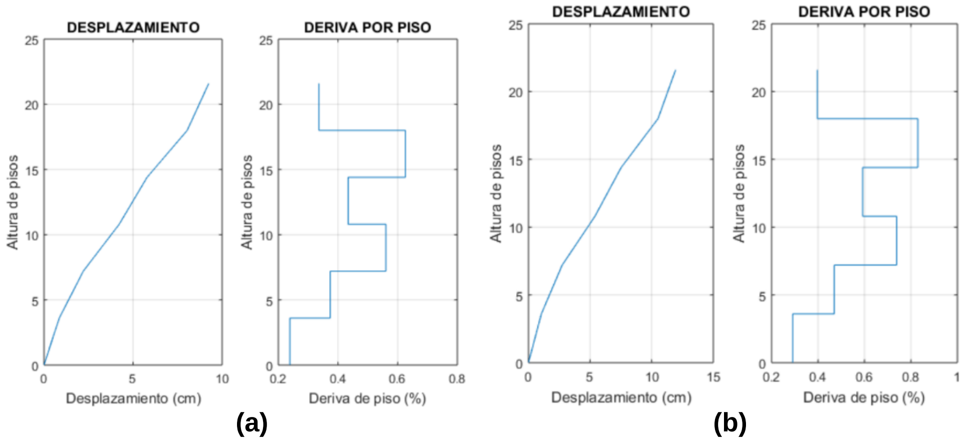


Figura 11 Respuesta en desplazamientos y derives de piso. Sentido Transversal; a) Ante componente E-W; b) Ante componente N-S. Bloque Estructural 3

- **Análisis en Sentido Longitudinal**

Los resultados se indican en la Tabla 6; la estructura se desplaza un poco menos en sentido longitudinal que en transversal. Los desplazamientos y derivas de piso se muestran en la figura 12.

Tabla 6 Respuestas máximas en Sentido Longitudinal de Bloque Estructural 3.

	E-W	N-S
$D_t\ (cm)$	9.0782	9.7951
γ (%)	0.5978	0.6496
γ_g(%)	0.42	0.45
Γ	1.4108	1.4060
T (s.)	0.717	

En los bloques estructurales 2 y 3, las derivas de piso, son menores a 1.1%, cantidad que se considera alta para un Hospital. Lo ideal habría sido que estas derivas sean menores al 0.4%. Pero no se debe pasar por alto, que las ordenadas espectrales del espectro obtenido con los registros de Manta, del terremoto de 2016, son mayores que las ordenadas espectrales del NEC-15, ver figura 3 c.

Para el reforzamiento estructural del Hospital, se realizó un estudio de Peligrosidad Sísmica en forma probabilística, utilizando para el efecto las ecuaciones de movimientos fuertes de: Zhao *et al.* (2006); Abrahamson *et al.* (2016) y Haendel *et al.* (2015); se utilizó el programa CRISIS (Ordaz *et al.* 2013). Para los factores de sitio se trabajó con los recomendados por NEHRP (2009). En la figura 13, se presenta el Espectro Máximo Considerado que tiene un período de retorno de 475 años.

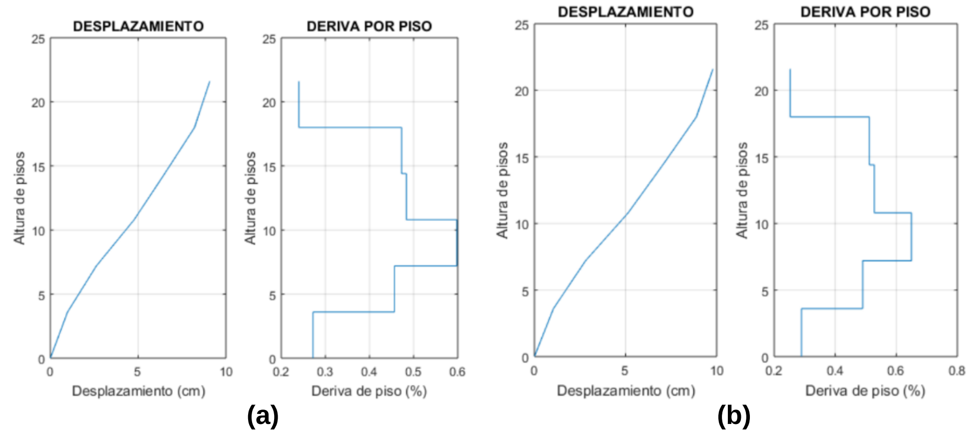


Figura 12 Respuesta en desplazamientos y derives de piso. Sentido Longitudinal; a) Ante componente E-W; b) Ante componente N-S. Bloque Estructural 3

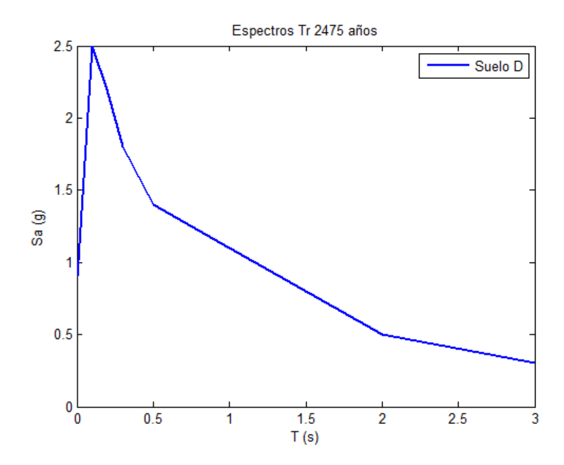


Figura 13 Espectro Máximo Considerado para el reforzamiento del Hospital Rodríguez Zambrano de Manta. Fuente: Aguiar *et al.* (2016,a).

3 REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE ENERGÍA

No todas las estructuras se pueden reforzar con disipadores de energía. En efecto, la estructura sin disipadores debe estar en capacidad de soportar el 75 % de la acción sísmica de acuerdo al ASCE-10. En este caso, los tres bloques estructurales del Hospital Rodríguez Zambrano, resistieron el terremoto de 2016 pero no en la forma que se espera para un hospital pero se puede reforzar solo con disipadores de energía ya que la mayor deriva de piso encontrada está en 1% y la mayor deriva global en 0.61 % como se observa en la tabla 7, en que se presentan los valores máximos, de las dos componentes sísmicas. Esta tabla viene a ser un resumen de las tablas 1 a 6.

Se indica en la tabla 7, el número del bloque estructural, los períodos de vibración T, la deriva global γ_g, la deriva de piso γ, y el desplazamiento lateral máximo D_t.

Tabla 7 Valores máximos de derivas y desplazamientos laterales

Bloque	$T\ (s)$		$\gamma_g\ (\%)$		$\gamma\ (\%)$		$D_t\ (cm)$	
	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.	Trans.	Long.
1	0.360	0.378	0.570	0.610	0.660	0.734	4.100	4.427
2	0.765	0.928	0.520	0.610	0.777	1.012	11.316	13.219
3	0.750	0.717	0.550	0.450	0.738	0.649	11.943	9.795

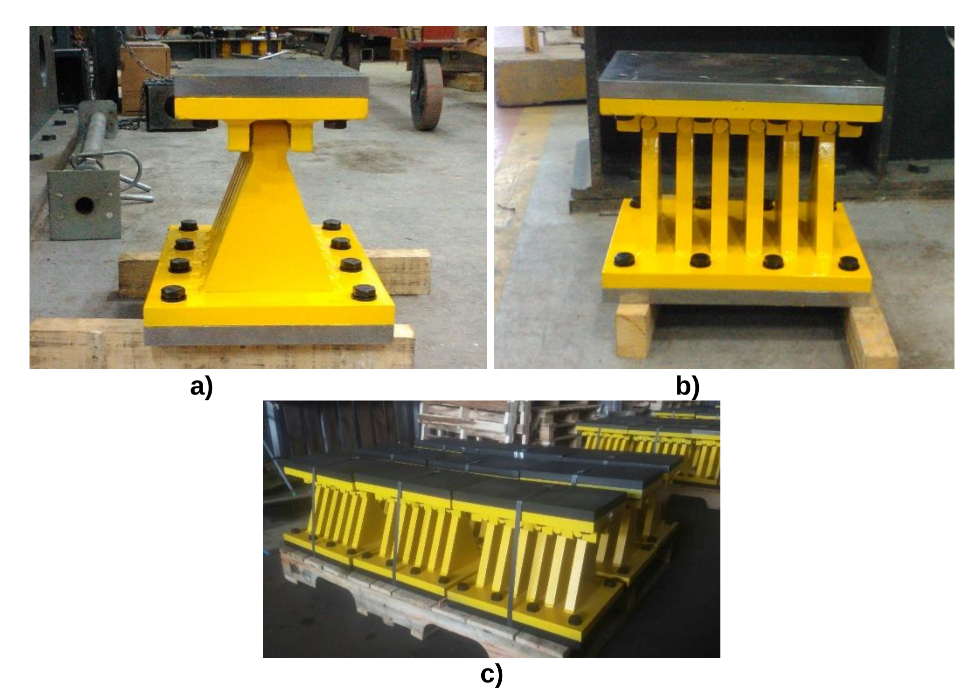
En los Bloques Estructurales analizados, el máximo desplazamiento lateral que se tuvo es 13.219 cm, en el Bloque 2, cómo se observa en la tabla 7. Ahora lo que se va a realizar es colocar disipadores de energía TADAS para que en un próximo terremoto se desplacen mucho menos. Pero el reforzamiento no se hace solo pensando en el sismo de 2016, sino en un terremoto más fuerte cuyo espectro es el presentado en la figura 13.

3.1 Disipador TADAS

Se decidió reforzar las estructuras con disipadores TADAS (Triangular Added Damping And Stiffness) de 6 y 10 placas. El de 6 placas es del mismo tamaño del que fue utilizado para reforzar los tres Bloques Estructurales de la Empresa Molinos Superior ubicada en la ciudad de Manta (Los Bloques se denominan: Trigo, Molido y Harina. En el primer Bloque Estructural se almacena la materia prima en silos de hormigón armado; en el segundo se muele el trigo y en el tercero se almacena la harina). Aguiar y Del Castillo (2016,c).

En la figura 14 a, se observa la forma triangular del TADAS, al ser un triángulo se garantiza que toda la sección se va a dañar en forma uniforme cuando trabaje a flexión; en la figura 14 b, se puede contar las placas y en la figura 14 c, se ve parte de los disipadores de energía almacenados en la Empresa SPD (Sistema de Protección Dinámica S.A.) domiciliada en Santiago de Chile antes de su envío a Ecuador (Fotografía tomada en Julio de 2017, un mes después llegaron a Manta).

El disipador de la figura 14, es de acero A36 con un límite de fluencia de 320 MPa. Este dato se debe tener muy en cuenta ya que en la literatura se indica que el acero A36 tiene un límite de fluencia de 250 MPa, y si se emplea este valor para obtener los puntos notables de la curva constitutiva: Fuerza-Desplazamiento se tendrán valores menores a los que se halla con el verdadero acero que viene el producto. Por esto se recomienda, antes de diseñar o reforzar una estructura con disipadores de energía TADAS, conocer la curva constitutiva del acero a emplear.



a) b)

c)

Figura 14 Disipador de energía TADAS de 6 placas; a) Vista frontal de forma triangular; b) Vista lateral de las Placas; c) Disipadores en la empresa SPD.

En la figura 15 a, se indican las dos placas que conforman el disipador TADAS, la de la izquierda es la placa de flexión, también conocida como placa principal, se ven que sobre la placa triangular existe un cilindro el mismo que se inserta en la placa de corte o peineta, que se ve a la derecha. Al colocar la peineta sobre la placa de flexión se tienen el disipador de energía indicado en la figura 14.

Antes de proceder a la fabricación en serie de los disipadores TADAS se procedió a ensayarlos, para ello se definió un test de carga; en el primer ciclo se tuvo un desplazamiento lateral de 1 cm; en el segundo ciclo 2; en el tercero 3 cm; luego de esto se dieron 10 ciclos de carga de 4 cm, cada uno y finalmente 5 ciclos de carga de 4.5 cm. Ante este test de carga, la curva constitutiva que se obtuvo del disipador es la presentada en la figura 15.

Se aprecia que los lazos son estables y que a medida que se aumenta el desplazamiento lateral se incrementa la resistencia y no se observa disminución de rigidez en la descarga. El área encerrada en un ciclo de carga es la energía disipada en ese ciclo. Con la energía disipada se halla el factor de amortiguamiento suponiendo que el disipador tiene amortiguamiento viscoso. En el primer ciclo de carga el factor de amortiguamiento fue de 23%, en el segundo del 36%, en el tercero de del 41% valor que se mantiene para los otros ciclos de carga pero también existen algunos valores con factores de amortiguamiento del 42%.

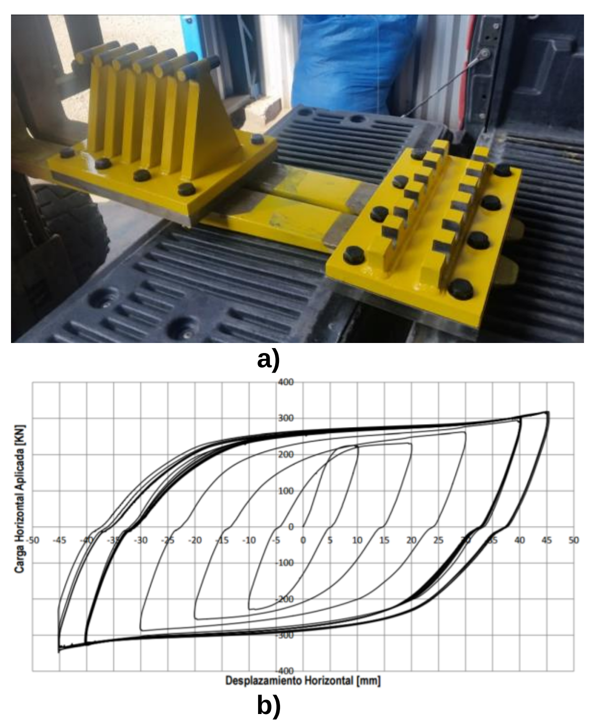


Figura 15 a) Placas que conforman el disipador de energía TADAS; b) Constitutiva del disipador TADAS ensayado. Fuente: DITUC (2017).

Varios son los factores que se deben tener en cuenta antes de comprar un disipador de energía; el primero de ellos es la curva constitutiva que esté de acuerdo con el cálculo estructural y sobre todo que tenga gran capacidad de disipación de energía (factor de amortiguamiento alto), segundo que sea vistoso y tercero la durabilidad que se espera con los disipadores, sobre todo si estos van a estar muy cerca del mar, como es el caso de la ciudad de Manta. Los disipadores comprados a SPD para la empresa Molinos Superior, en su terminado y protección contra los agentes naturales fue de una limpieza con chorro abrasivo grado SSPC SP10 y esmalte epóxico MACROPOXI de un espesor mínimo de **6 mils**.

3.2 Disipador sobre contraviento

Los disipadores de energía TADAS se van a colocar sobre contravientos de acero en forma de "V" invertida, como se aprecia en la figura 16. Se colocarán en las fachadas de los tres Bloques Estructurales indicados en la figura 1 y en algunos pórticos interiores. Esto obligó a un rediseño arquitectónico el mismo que ha estado a cargo de la Dirección de Estudios del SECOB, zona 4.

Pero no solamente se hizo el rediseño arquitectónico, sino que la rehabilitación del Hospital es integral, lo que implica una modernización de las Instalaciones Sanitarias, Eléctricas y Mecánicas, fundamentalmente.

Al estar el TADAS sobre un contraviento se aprovecha el desplazamiento relativo que tienen dos pisos. Si se tiene una estructura rígida este desplazamiento relativo será bajo y por lo tanto la eficiencia de los TADAS no es buena.

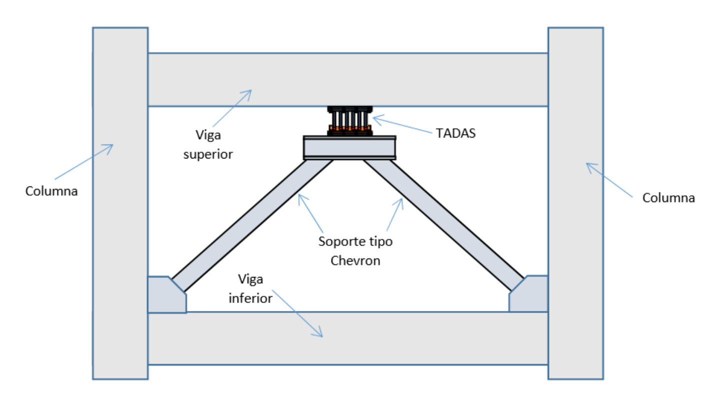


Figura 16 Colocación de disipadores TADAS sobre contravientos de acero en forma de "V" invertida. Fuente: SPD (2017)

En el caso del hospital el contraviento está formado por perfiles de acero circulares (tubulares) de 32 cm, de diámetro y 1.5 cm, de espesor, que van soldadas a las Placas Gusset superior e inferior (Aguiar *et al.* 2016,b; Kotulka, 2007; Dowswell, 2011).



Figura 17 Reforzamiento de Molinos Superior; a) Placa de acero en forma de "C" formada por tres piezas; b) Collarines del Contraviento; c) Placa Gusset inferior.

El disipador TADAS indicado en la figura 14, es de color amarillo, pero en sus extremos existe una placa de acero de color plomo; estas placas se colocan por separado; la que se encuentra en la parte superior se debe soldar a una placa de acero que debe ir bajo la viga de hormigón mostrada en la figura 17 a. Ahora no es

fácil anclar la placa bajo la viga por la presencia de la armadura longitudinal y transversal de la viga, por lo que se recomienda que esta placa tenga una forma “C” cómo se muestra en la figura 17 a.

Se puede construir una sola placa en forma de “C” o sino mediante tres piezas, una horizontal y dos verticales se forma la “C”, así se procedió en el reforzamiento de los tres Bloques Estructurales de Molinos Superior. En efecto, primer se colocó la placa horizontal bajo la viga y se la sujeto momentáneamente con dos anclajes mecánicos; luego se colocó las placas verticales, las mismas que se apoyan en la placa horizontal que tiene un ancho mayor que la viga para que permita el apoyo de la placa vertical y la soldadura de la misma; finalmente se colocó por los dos extremos de las placas verticales los anclajes químicos.

En la parte inferior, antes de colocar las placas Gusset se quitó una parte de la pared que se ve en la figura 17 b, y se procedió a colocar el collarín, para posteriormente colocar los pernos de anclaje químicos en las cuatro caras. Finalmente en la figura 17 c, se ve la forma como se está soldando la placa Gusset al Collarín. La placa Gusset está apoyada sobre una placa horizontal que se observa en la figura 17 b.

Es importante en el reforzamiento disminuir lo más que se pueda el peso. En Molinos Superior las paredes eran de bloques y tuvieron un mal comportamiento ahora se cambió a un aglomerado de madera con esponja en la parte interior de esa manera se disminuye considerablemente el peso.

En el Hospital se cambiarán todas las paredes a Gypsum, que tiene un peso de 40 kg., por metro cuadrado en contraste con los 200 o 300 kg., por metro cuadrado que tienen las paredes de bloque pero a más de ello el Gypsum tiene un comportamiento dúctil durante un sismo. Aguiar *et al.* (2016,a).

4 MODELO BILINEAL DEL DISIPADOR

En la figura 15 b, se presentó la curva constitutiva del disipador TADAS que se utilizó para reforzar los Bloques Estructurales de Molinos Superior y que se va a utilizar para reforzar el Hospital Rodríguez Zambrano, para el caso de 6 placas, se recuerda que también se tiene de 10 placas en el reforzamiento del Hospital.

Ahora bien, es común trabajar con un modelo bilineal, para el análisis y diseño de los disipadores TADAS pero surge la interrogante, que tan bien es la aproximación que se tiene con este modelo. Para responder esta interrogante, en la figura 18, la curva de color rojo es la que se obtuvo en forma experimental de un prototipo de un disipador S-TADAS (Variante del disipador TADAS) y con línea de color azul se indica el modelo bilineal, se aprecia que es una aproximación conservadora.

Al ver la curva experimental y el modelo bilineal, surge la idea de modelar la constitutiva de los TADAS con un modelo trilineal, con una fase intermedia que es el paso del rango elástico al punto de la envolvente. Esto no solo sucede con los TADAS sino con la mayor parte de disipadores por fluencia del material, que era importante reconocerlo ya que cuando se trabaja con el modelo bilineal a secas, se

llega a pensar que se aproxima muy bien a la curva constitutiva obtenida experimentalmente.

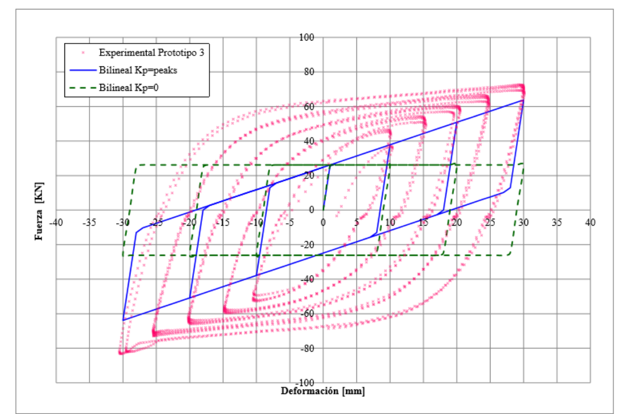


Figura 18 Curva constitutiva de un Prototipo S-TADAS y modelos de análisis. Fuente: Valdebenito (2017)

En la figura 18, con color negro se presenta el modelo constitutivo elasto perfectamente plástico del disipador y se ve que está bastante distante de la curva encontrada experimentalmente.

Con esta acotación, ahora en la figura 19, se presenta el modelo constitutivo bilineal, adoptado para definir el comportamiento de un disipador TADAS, se aprecia que existen dos rigideces, una elástica denominada K_e, y una plástica K_p; la relación entre la rigidez plástica con relación a la rigidez elástica se identifica con la variable α. El punto de fluencia viene definido por las siguientes ecuaciones.

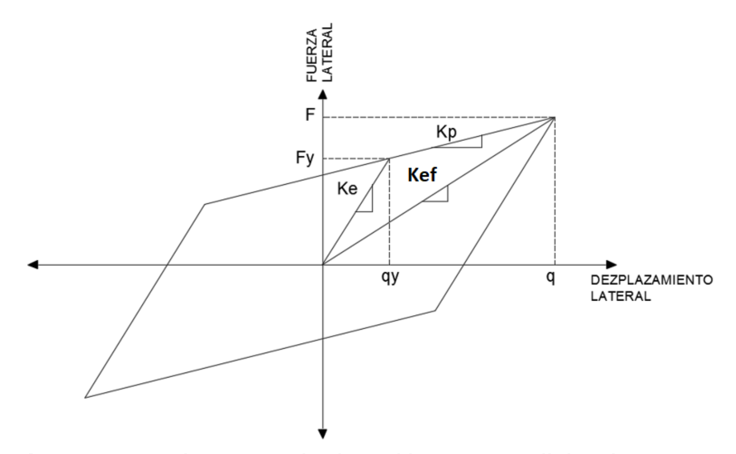


Figura 19 Modelo Constitutivo Bilineal para disipador TADAS

$$F_y = n \frac{f_y \, b \, t^2}{6 \, h} \quad (1)$$

$$\Delta_y = \frac{f_y h^2}{E\ t} \tag{2}$$

$$K_e = n \frac{E\ b\ t^3}{6\ h^3} \tag{3}$$

Donde $\boldsymbol{n}$ es el número de placas del disipador; $\boldsymbol{f_y}$ es el límite de fluencia del material; $\boldsymbol{b}$ es el ancho de la placa triangular; $\boldsymbol{h}$ es la altura de la placa; $\boldsymbol{t}$ es el espesor de una placa; $\boldsymbol{E}$ es el módulo de elasticidad del material del disipador. Ahora bien, la fuerza $\boldsymbol{F}$, asociada a un desplazamiento $\boldsymbol{q}$ en que puede trabajar el disipador, vale.

$$F = F_y + K_p\ (q - q_y) \tag{4}$$

Se recuerda que $\boldsymbol{F}$ tiene que ser menor que la fuerza total de plastificación $\boldsymbol{F_u}$, que viene dada por la siguiente ecuación.

$$F_u = \frac{f_y\ b\ t^2}{4\ h} \tag{5}$$

La rigidez efectiva K_{ef} también conocida como rigidez secante se halla con la siguiente expresión.

$$K_{ef} = \frac{F}{q} \tag{6}$$

El cálculo se realiza en forma interactiva, es decir uno se impone un desplazamiento relativo en el disipador q en base al cual se determina la fuerza F, la rigidez efectiva K_{ef} y el factor de amortiguamiento equivalente ξ_{eq}, Con estos dos últimos valores se procede a realizar el análisis sísmico y al final se obtiene el desplazamiento relativo en el disipador, el mismo que se compara con los impuestos, si son parecidos se termina el cálculo, caso contrario se vuelve a calcular: K_{ef} y ξ_{eq}.

5 MODELO DE DIAGONAL EQUIVALENTE

Existen dos formas en las cuales se puede realizar el análisis sísmico del conjunto: contraviento de acero en forma de "V" invertida y disipador TADAS. La primera consiste en modelar al disipador como un elemento corto, de tal manera que se tendrían tres elementos, a saber: dos diagonales de acero y el elemento disipador; en la segunda en cambio se obtienen dos diagonales equivalentes del conjunto diagonal de acero disipador; estas dos formas de análisis están descritas en Aguiar *et al.* (2016,a).

En este artículo se va a trabajar con la segunda forma de análisis que se conoce con el nombre de "Diagonal Equivalente", para ello en la figura 20 a, se ha presentado las diagonales del contraviento y un disipador TADAS que tiene una rigidez efectiva K_{ef} estudiada en el apartado anterior.

En la figura 20 b, se presentan las dos diagonales que tienen una rigidez axial K_{diag} y se ha dividido la rigidez efectiva para dos para que se encuentren actuando en cada diagonal; finalmente el ángulo que forma la diagonal del contraviento con el eje horizontal se llama θ.

No se puede trabajar directamente con las rigideces indicadas en la figura 20 b, ya que la una está en la dirección del ángulo θ, y la otra en la dirección horizontal, para que las dos se encuentren en la misma dirección se hace una transformación de coordenadas para el disipador de la componente horizontal a la componente que forma un ángulo θ. La matriz de paso T que en este caso tiene una sola cantidad: $T = 1/cos\theta$.

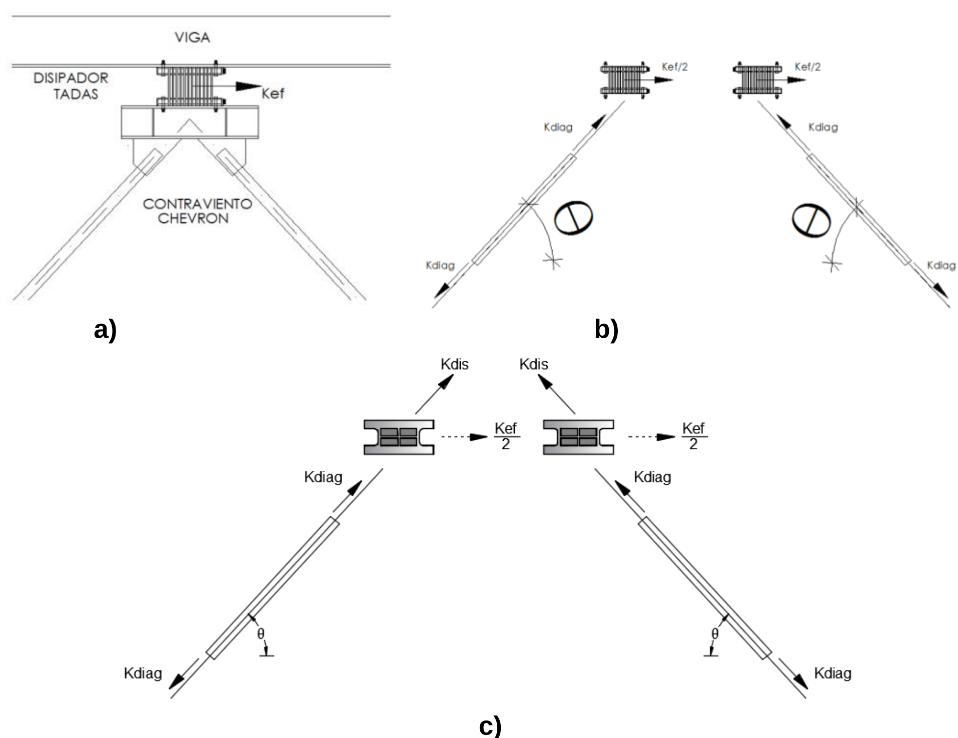


Figura 20 Modelo de Diagonal Equivalente; a) Contraviento en forma de "V" invertida de acero y disipador; b) Rigidez axial de diagonal y horizontal de disipador; c) Rigidez de disipador en dirección de rigidez de diagonal.

En la figura 20 c, se ha denominado K_{dis} a la rigidez del disipador en la dirección axial de la diagonal, la misma que se encuentra con la siguiente ecuación.

$$K_{dis} = T^t \frac{K_{ef}}{2} T = \frac{K_{ef}}{2 \, cos_{\theta}^2} \tag{7}$$

Ahora se tienen dos rigideces en la misma dirección y se pueden modelar como resortes en serie debido a que los desplazamientos son diferentes (Principio para que funcionen los disipadores). Se denomina K_{eq} a la rigidez equivalente, que es igual a:

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_{dis}} + \frac{1}{K_{diag}} = \frac{K_{diag} + K_{dis}}{K_{diag}\, K_{dis}}$$

$$K_{eq} = \frac{K_{diag}\, K_{dis}}{K_{diag} + K_{dis}} \qquad (8)$$

Por otra parte, se tiene:

$$K_{diag} = \frac{E_s\, A_s}{L_d}\, cos_\theta^2 \qquad (9)$$

Donde E_s es el módulo de elasticidad del material; A_s es el área de la sección transversal de la diagonal; L_d es la longitud de la diagonal; la variable θ ya fue identificada.

6 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA DESARROLLADA EN LA UAM

Existe una metodología muy interesante desarrollada en la Universidad Autónoma Metropolitana UAM, de México, para el diseño de estructuras con disipadores de energía, que es muy brevemente comentada en este apartado, lo que se desea es presentar algunos factores que intervienen en su formulación y cuantificarlos con los disipadores TADAS que se van a utilizar en el reforzamiento del Hospital Rodríguez Zambrano. En las siguientes referencias se presenta con detalle esta metodología: Nangullasmú y Tena (2017); Tena (2017).

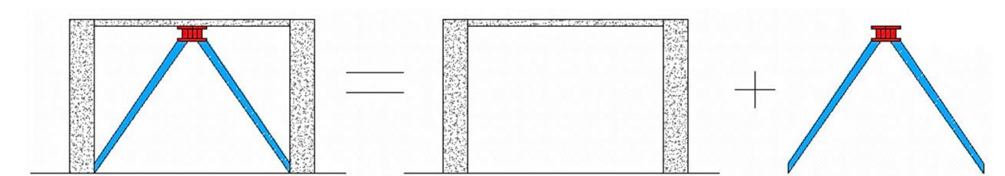


Figura 21 Descomposición de la rigidez de una estructura con disipadores de energía sobre contravientos. Fuente: Tena (2017)

La idea fundamental de la metodología se indica en la figura 21, a la izquierda se presenta un marco de un piso y un vano con disipadores de energía sobre un contraviento; esta gráfica representa a una estructura espacial con disipadores en cualquier sitio; la gráfica de la mitad corresponde a la estructura sin disipadores y la que se halla al extremo derecho a los disipadores, con esto se plantea la siguiente ecuación.

$$K_{TOTAL} = K_{MARCO} + K_{CONTRAVIENTO-DISIPADOR} \qquad (10)$$

Luego la matriz de rigidez total es igual a la matriz de rigidez de los pórticos de la estructura sin disipadores de energía, que pueden calcularse con las fórmulas

de Wilbur más la rigidez de los contravientos y disipador, que se obtienen con la siguiente ecuación.

$$K_{CONTRAVIENTO-DISIPADOR} = n * K_{eq} \quad (11)$$

Siendo n el número de diagonales compuesta por el contraviento y disipador; K_{eq} es la rigidez equivalente que se encuentra con la ecuación 8.

Los dos parámetros que define el modelo de la UAM, son α que relaciona la rigidez del marco con respecto a la rigidez total, en otras palabras mide la proporción del cortante sísmico que resisten todos los marcos (sin contravientos y disipador). El otro parámetro es β definido de la siguiente manera.

$$\beta = \frac{K_e}{K_{diag}} \quad (12)$$

Donde K_e es la rigidez elástica del disipador, que para el caso de los TADAS se halla con la ecuación (3); K_{diag} es la rigidez elástica de la diagonal de acero de un contraviento.

Existe un tercer parámetro que es θ que es el ángulo que forma la diagonal con respecto a la horizontal, ver figura 20.

7 CÁLCULO DE PARÁMETROS α, β

Se presenta con detalle el cálculo de los parámetros α, y, β en el Bloque Estructural 2. Posteriormente solo se indica las tablas de resultados para los Bloques Estructurales 1 y 3.

7.1 Bloque Estructural 2

En la figura 1 c, se presenta el Bloque Estructural 2, es rectangular con 4 ejes de columnas en sentido longitudinal y 8 en sentido transversal. Las columnas son de 80/80 cm, 60/60 cm, y 40/40 cm; las vigas de 40/60 cm; descritas en Aguiar *et al.* (2016,a). En la figura 22 se presentan los pórticos del Bloque Estructural 2.

- **Análisis en Sentido Longitudinal**

Los pórticos 1 y 4, tienen disipadores de energía TADAS colocadas sobre contravientos en forma de "V" invertida; las diagonales de acero son de 32 cm, de diámetro y 1.5 cm, de espesor. Sobre cada contraviento se van a colocar 3 disipadores de iguales a los presentados en la figura 14. En la figura 20 a, se observa, en los pórticos 1 y 4, las diagonales equivalentes (lugares en los que se colocarán disipadores sobre diagonales); los pórticos centrales no tienen disipadores. El colocar disipadores en los pórticos exteriores es lo más funcional ya que no se altera el funcionamiento del hospital.

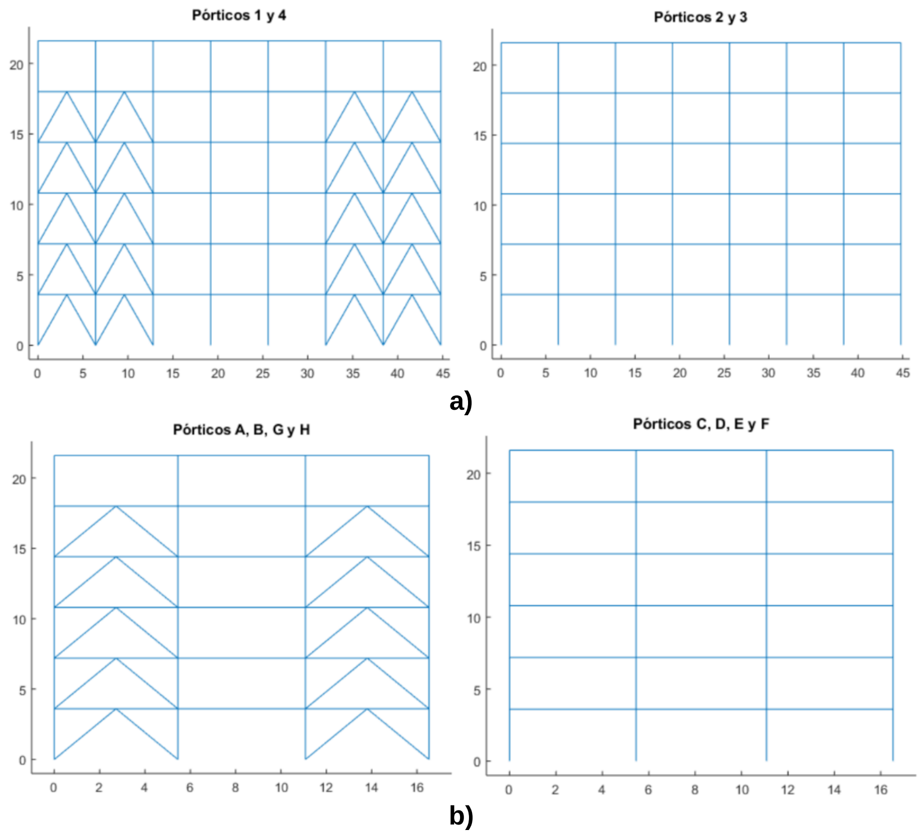


Figura 22 Estructura reforzada, Pórticos del Bloque 2;
a) Sentido Longitudinal; b) Sentido Transversal

Las luces de los pórticos en sentido longitudinal es de 6.4 m; la altura de piso es 3.60 m. Dimensiones entre ejes. Las dimensiones de un disipador, es: $b = 17\ cm; h = 17\ cm; t = 2.5\ cm; fy = 3200\frac{kg}{cm^2}$. Cada disipador tiene 6 placas y se van a colocar 3 disipadores, con lo que el número de placas es $n = 18$. Con esto se obtiene un valor de $\beta = 0.72$; $\theta = 51.07^0$ (Con $L_d = 3.34\ m$) En las tablas 8, se presenta el cálculo de α, para el sismo de diseño y máximo considerado.

Tabla 8 Valor de α para sismo de diseño y máximo en sentido longitudinal.

Piso	Pórtico 1 y 4 (T/m)	Pórtico 2 y 3 (T/m)	K_{MARCO} (T/m)	Sismo de diseño			Sismo Máximo		
				K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α	K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α
1	38020	81491	239022	59228	298250	0.80	40604	279626	0.85
2	29692	50895	161174	59228	220402	0.73	40604	201778	0.80
3-4	8866	29309	76350	59228	135578	0.56	40604	116954	0.65
5	8866	8866	35464	59228	94692	0.37	40604	76068	0.47
6	8866	8866	35464	0	35464	1.00	0.0	35464	1.00

- **Análisis en Sentido Transversal**

Definitivamente el valor de β depende bastante del ángulo θ, inclinación de la diagonal del contraviento con respecto a la horizontal. En el sentido transversal de igual manera se van a colocar 3 disipadores de 6 placas cada uno (los mismos que en el sentido longitudinal) pero ahora se tiene una menor luz. Efectivamente la luz entre las columnas donde van los disipadores es 5.45 m (distancia entre ejes) con lo que la longitud de la diagonal de los disipadores $L_d = 3.06\ m$ y el ángulo es $\theta = 57.99^0$; con estos valores (los restantes son iguales, dimensiones del TADAS) el valor $\beta = 0.93$.

Tanto en sentido longitudinal como transversal se han colocado 24 disipadores TADAS de 6 placas cada uno, en los pisos 1 al 5. Los valores del parámetro α, en sentido transversal se indican en la tabla 9.

Tabla 9 Valor de α para sismo de diseño y máximo en sentido transversal

Piso	**Pórtico** A y H (T/m)	**Pórtico** B a G (T/m)	K_{MARCO} (T/m)	**Sismo de diseño**			**Sismo Máximo**		
				K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α	K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α
1	18991	40674	282026	74478	356500	0.79	51867	333890	0.84
2	14821	25380	181922	74478	256400	0.71	51867	233790	0.78
3-4	4431	14628	96629	74478	171110	0.56	51867	148500	0.65
5	4431	4431	35445	74478	109920	0.32	51867	87312	0.41
6	4431	4431	35445	0.0	35445	1.00	0.0	35445	1.00

7.2 Bloques Estructurales 1 y 3

Las dimensiones de los elementos estructurales y la ubicación de los disipadores de energía sobre contravientos de acero de los Bloques Estructurales 1 y 3, se indica en Aguiar *et al.* (2016,a). Los resultados del cálculo del parámetro α se indican en las tablas 10 y 11 pero únicamente para el sismo de diseño.

Tabla 10 Valor de α para sismo de diseño en Bloque Estructural 1

BLOQUE 1 Sentido Longitudinal

Piso	**Pórtico A y C** (T/m)	**Pórtico** B (T/m)	K_{MARCO} (T/m)	**Sismo de diseño**		
				K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α
1	5761.1	6014.5	17536.7	8967.4	26504.1	0.66
2	1243.4	1877.1	4363.9	8967.4	13331.3	0.33

BLOQUE 1 Sentido Transversal

Piso	**Pórtico** 1 y 4 (T/m)	**Pórtico** 2 y 3 (T/m)	K_{MARCO} (T/m)	**Sismo de diseño**		
				K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α
1	3002.5	3771.2	13547.4	6420.5	19967.9	0.68
2	1243.4	1300	5086.8	6420.5	11507.3	0.44

Tabla 11 Valor de α para Sismo de Diseño en Bloque Estructural 3

BLOQUE 3 Sentido Longitudinal

Piso	**Pórtico 1** (T/m)	**Pórtico** 2 y 3 (T/m)	**Pórtico** 4 (T/m)	**Pórtico** 5 y 6 (T/m)	**Pórtico** 7 (T/m)	K_{MARCO} (T/m)	**Sismo de diseño**		
							K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α
1	5100.6	7482.2	16150	29819	13073	108926	6420.5	115346.5	0.94
2	3340.7	4220.7	10379	14714	9015.6	60604.7	6420.5	67025.2	0.90
3	2136.8	2610	6181.9	9579.6	5528.1	38226	6420.5	44646.5	0.86
4	2136.8	2610	6181.9	9579.6	5528.1	38226	6420.5	44646.5	0.86
5	2136.8	2136.8	5528.1	2136.8	6109.5	22321.6	6420.5	28742.1	0.78
6	2401.9	2401.9	2401.9	2401.9	0	14411.4	6420.5	20831.9	0.69

BLOQUE 3 Sentido Transversal

Piso	**Pórtico A** (T/m)	**Pórtico G** (T/m)	**Pórtico** B y F (T/m)	**Pórtico** C y E (T/m)	**Pórtico** D (T/m)	K_{MARCO} (T/m)	**Sismo de diseño**		
							K_{C-D} (T/m)	K_{TOTAL} (T/m)	α
1	7566.9	7566.9	12797	26374	33708	127183.8	8967.4	136151.2	0.93
2	5256.3	5256.3	7340	16346	18893	76777.6	8967.4	85745	0.90
3	3202.5	3202.5	4345.2	10165	13431	48856.4	8967.4	57823.8	0.84
4	3202.5	3202.5	4345.2	10165	13431	48856.4	8967.4	57823.8	0.84
5	2295.1	3530.9	0	6306.5	6306.5	24745.5	8967.4	33712.9	0.73
6	0	0	0	5848.6	5848.6	17545.8	8967.4	26513.2	0.66

8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 23, se presentan los valores del parámetro α que relaciona la Rigidez de Marco con la Rigidez Total de la estructura (incluyendo contravientos y disipadores) en los tres Bloques Estructurales del Hospital Rodríguez Zambrano de la ciudad de Manta. Se aprecia que a medida que a medida que sube el número de piso el valor de α disminuye. Esto significa que los disipadores de energía trabajan más en los pisos superiores y esto es lógico debido a que esos pisos son los que tienen mayor desplazamiento lateral que los inferiores.

En la tabla 12 se indican los valores promedios del parámetro α, en cada uno de los Bloques Estructurales del Hospital, se observa que el menor valor se da en el Bloque Estructural 1, que es una estructura regular de 2 pisos y el mayor valor en el Bloque Estructural 3, que se trata de una estructura irregular en planta y elevación de 6 pisos.

Tabla 12 Valores medios del parámetro α, hallados en reforzamiento estructural de Hospital Rodríguez Zambrano

Bloque Estructural 1	**Bloque Estructural 2**	**Bloque Estructural 3**
0.527	0.596	0.860

Con respecto al parámetro β que relaciona la rigidez elástica del disipador con respecto a la rigidez elástica de la diagonal del contraviento, se obtuvieron los valores únicamente en el Bloque Estructural 2 y se indican en la tabla 13.

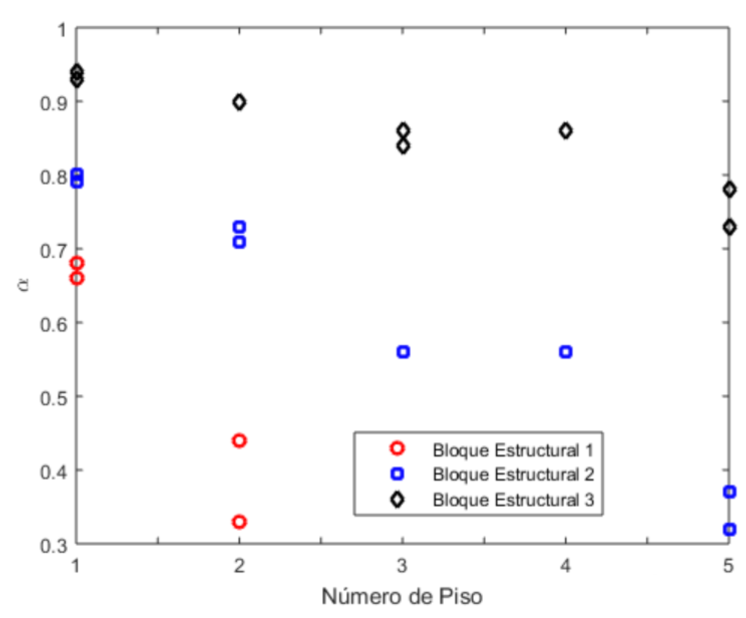


Figura 21 Valores del parámetro α en los Bloques Estructurales del Hospital Rodríguez Zambrano de Manta que será reforzado con disipadores de energía TADAS. Fuente: Este Estudio.

Tabla 13 Valores de β, y, θ en Bloque Estructural 2. Fuente: Este Estudio.

Sentido Longitudinal		**Sentido Transversal**	
β	θ	β	θ
0.72	51º	0.93	58º

9 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El principal objetivo del trabajo fue presentar los parámetros: α, β, θ que se obtuvieron en el reforzamiento estructural con disipadores de energía TADAS en el Hospital Rodríguez Zambrano de la ciudad de Manta, que fue afectada por el terremoto del 16 de abril de 2016, de magnitud 7.8.

En el reforzamiento de una estructura, muy poco se puede hacer con el ángulo θ, debido a que el Proyectista Estructural tiene que adaptarse a la geometría de la estructura existente. Pero si puede utilizar las variables α, β, para determinar la geometría del disipador y de las diagonales del contraviento.

Por otra parte, se ha presentado con fotografías el proceso constructivo del reforzamiento realizado en las estructuras de la Empresa Molinos Superior y la colocación de las diagonales, de tal manera que tengan el menor ángulo θ, es bastante complejo. Antes de empezar el reforzamiento, a los constructores se les dio una conferencia sobre la forma como trabajan los disipadores de energía TADAS, las diagonales, las placas de continuidad y las Placas Gusset; esto fue muy bueno ya que se esmeraron en hacer el trabajo de la mejor manera posible.

REFERENCIAS

1. Abrahamson N., Greqor N., and Addo K., (2012) "BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes", *Earthquake Spectra.*
2. Aguiar R., García L., Zevallos M., Palacios J., Menéndez E., (2017), "Reforzamiento sísmico de edificio de Banco Central de Manta", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22 (4)**, 479-501.
3. Aguiar R., (2017), "No se acepta el diseño por ductilidad. Caso del Edificio Fragata que incursionó en el rango no lineal", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22 (3),** 327-391.
4. Aguiar R., Zevallos M., Palacios J., García L., Menéndez E., (2016,a), *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía. Terremoto de Ecuador del 16 de abril de 2016,* Instituto Panamericano de Geografía e Historia, IPGH, 283 p. Portoviejo, Ecuador.
5. Aguiar R., Silva H., Coyago H., (2016,b), "Desarrollo de un programa en Excel para diseñar placas Gusset. Aplicación a una estructura con disipadores de energía de UFA-ESPE" *Revista Ciencia,* **18 (3),** 353-380.
6. Aguiar R., Del Castillo F., (2016,c), *Reforzamiento Estructural de Bloques Estructurales de Empresa Molinos Superior,* 6 Capítulos de Memorias entregadas a Ing. Andrés Guerrón.
7. DICTUC (2017) *Ensayo cíclico disipador de energía TADAS,* Informe 1398367. Área Dictuc Construcción Unidad Ingeniería Estructural, Copia 1398367. Santiago de Chile.
8. Dowswell, B. (2011). Connection Design for Steel Structures, Structural Design Solutions.
9. Haendel A., Specht S., Kuehn N., and Scherbaum F., (2015), "Mixture of ground-motion prediction equations as backbone models for a logic tree: an application to the subduction zone in Northern Chile", *Bulletin of Earthquake Engineering,* **13 (2),** 483-501.
10. Kotulka, B. A. (2007). Analysis for a design guide on Gusset Plates used in Special Concentrically Braced Frames. University of Washington.
11. Nangullasmú H., y Tena A., (2017), "Modelado de disipadores histeréticos de energía en estructuras de concreto reforzado. Diferencias entre análisis en el plano y en tres dimensiones", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22 (2),** 135-162.
12. NEC-15 (2015) *Norma Ecuatoriana de la Construcción, SE-DS, Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente.* 138 p. Quito.
13. NEHRP (2009), Council, B. S. S., (2009), *NEHRP recommended seismica provisions for new buildings and other structures,* Federal Emergency Management Agency.
14. Ordaz M., Martinelli F., D'Amico V., and Maletti C., (2013), "CRISIS: A flexible tool to perform probabilistic seismic hazard assessment", *Seismological Research Letters,* **84 (3),** 495-504.
15. SPD (2017) *Protección Sísmica mediante disipadores de energía TADAS,* Sistema de Protección Dinámica, Información entregada, 3 pp.
16. Tena A., (2017), *Diseño sísmico resiliente conforme a reglamento de edificios estructurados con base en marcos contraventeados con disipadores de energía histeréticos,* Curso Internacional de Estructuras,

dictado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE y en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí en Agosto de 2017.

17. Tena A., Nangullasmú H., (2013) “Diseño sísmico de marcos no dúctiles de concreto reforzado con disipadores de energía histeréticos: Definición de parámetros de diseño”. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil,* 13 (2), 275-299.
18. Tena A., Ramírez H., (2017), “Diseño sísmico resiliente de marcos dúctiles de acero con fusibles estructurales”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22 (4),** 421-457.
19. Tsai K-C., Chen H-W., Hong C-P. y Su Y-F, (1993), “Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction”, *Earthquake Spectra,* **9 (3),** 505-528.
20. Whittaker A.S., Bertero V., Alonso L., and Thompson C., (1989), *Earthquake simulator testing of steel plate added damping and stiffness elements,* Report UCB/EERC-89/02. Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.
21. Valdebenito N., (2017), *Desarrollo de un Sistema de disipación de energía denominado S-TADAS”,* Tesis de grado para optar por título de Magister en Ingeniería Estructural y Geotécnia, Pontificia Universidad Católica de Santiago de Chile.
22. Zhao J., Zhang J., Asano A., Ohno Y., Ouchi T., Takahashi T., … and Fukushima Y., (2006), “Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period”, *Bulletin of the Seismological Society of America,* **96 (3),** 898-913.